

高圧液体キセノンを用いた $0\nu 2\beta$ 探索の基礎研究

宇宙の歴史をひもとく地下素粒子原子核研究

2017領域研究会 岡山大学

2017年5月21日

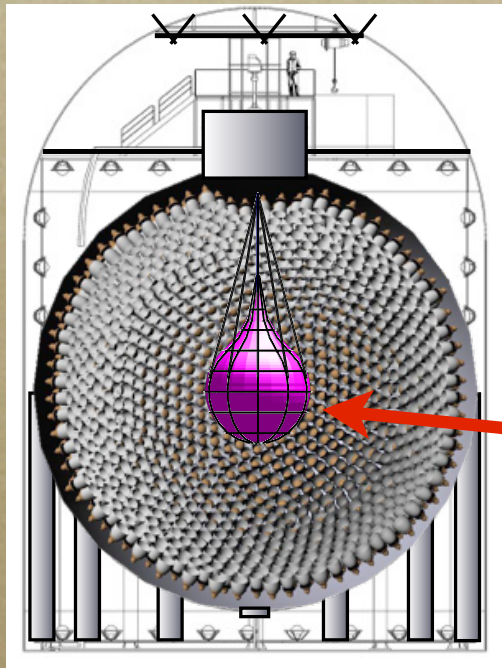
東北大RCNS 上島考太

内容

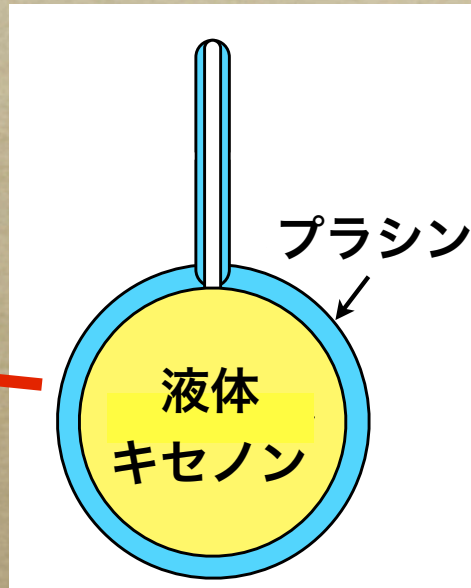
- 研究目的
- プラスチックシンチレータ中の内部BG
- 耐高圧プラシン容器開発
- 高圧液体キセノン試験、波形弁別
- まとめ

研究目的

KamLAND2-Zen
1000kg ^{136}Xe



ターゲット原子核の周りにエネルギーの付加による不感領域を無くし、**極低バックグラウンド環境**である *KamLAND2* の中心に高圧液体キセノンをセットする。



1000kg 液体Xe

直径~*100cm*

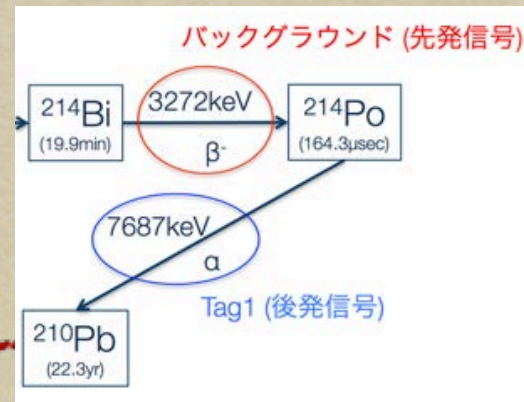
46000 photon/MeV

wave length : 175nm

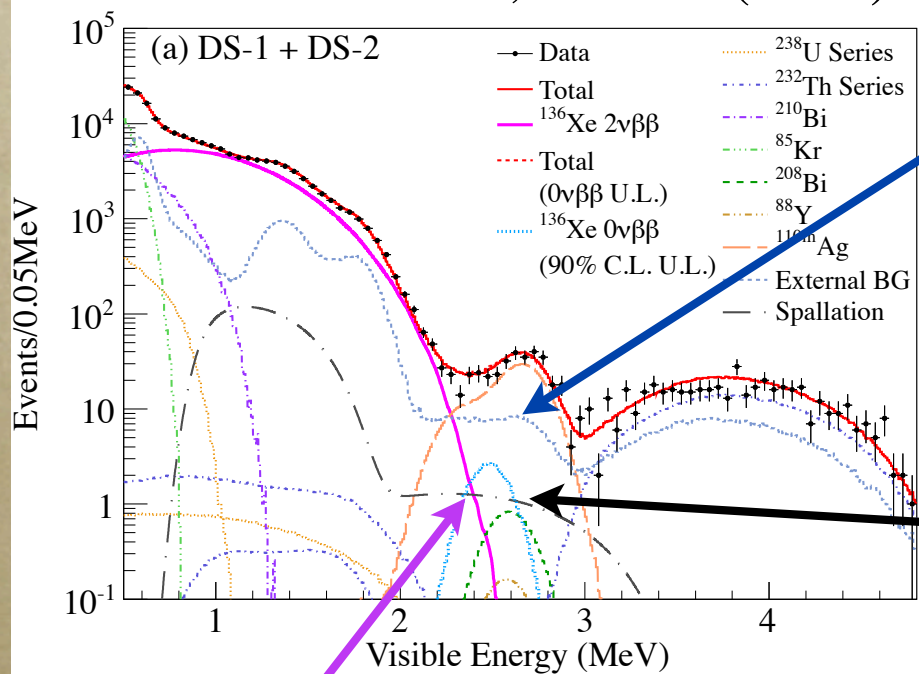
液体キセノンのシンチレーション光をプラシン（波長変換剤）で可視光に変換し、遠くにあるPMTで読み出す。

+ α 液化希ガスとプラシン容器を組み合わせ多目的な(DM,太陽 ν)検出器

BG低減



Phase1 PRL 110, 062502 (2013)



^{214}Bi mini-balloon中のウラン起源

^{214}Po の α がタグできなかつたものが原因

プラスチックシンチレータを液体キセノンの容器に用いエネルギー付加の不感領域をなくす。
(純化により低内部BG化は必要)

^{10}C spallation product after muon

液体キセノンにすれば大幅に減少 ~ 0

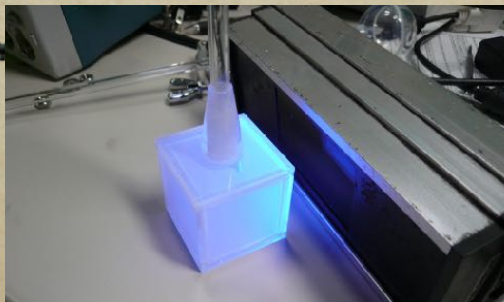
$2\nu 2\beta$

液体キセノンが高発光量なシンチレータである事を利用し、収集光量を上げる。
 $\sim 46000\text{photon/MeV}$ (KL LS $\sim 8000\text{photon/MeV}$)

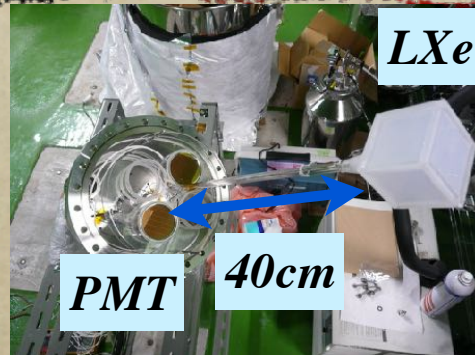
液体キセノンとプラスチックシンチレータの波形弁別によるBG低減

$0\nu 2\beta$ のシグナル確認: 濃縮キセノンと通常のキセノンを入れ替え可能

アクリル+波長変換剤(TPB)



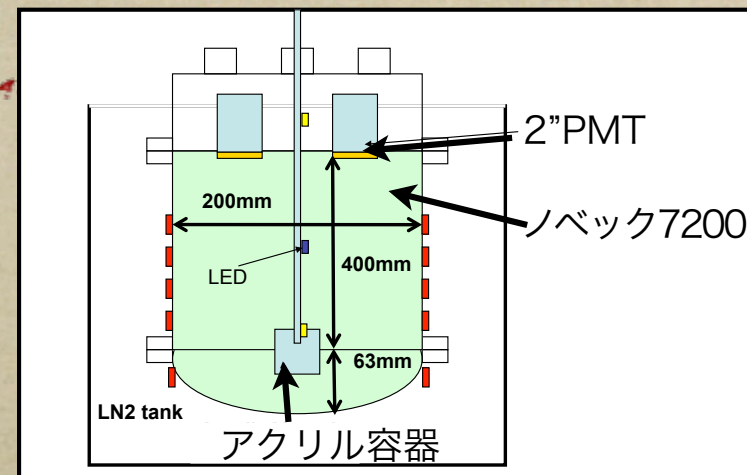
TPBを内面に真空蒸着



PMT

40cm

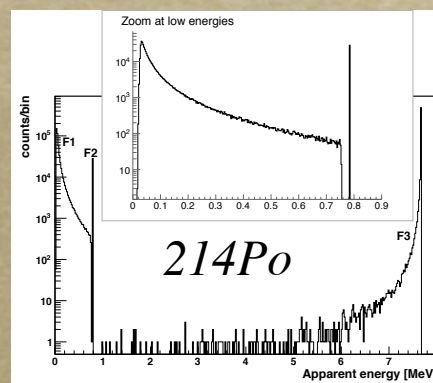
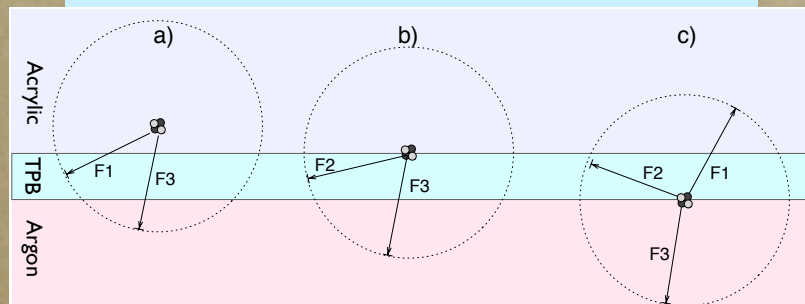
LXe



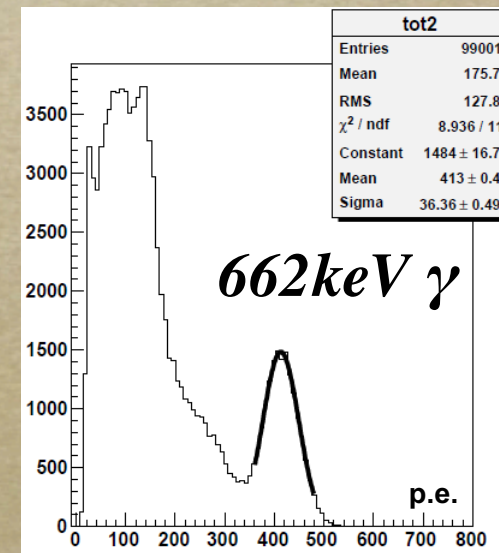
アクリル,TPBの内に含まれる ^{214}Bi がBGとなる。 $(0\nu 2\beta)$

表面BGの問題 (DM)

液体アルゴン： ^{214}Po , ^{210}Po α



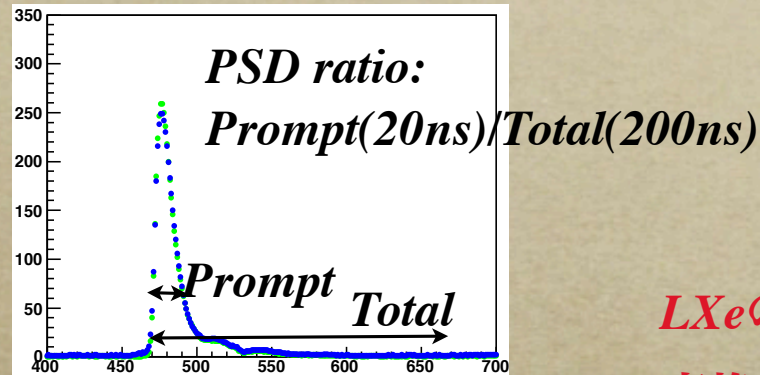
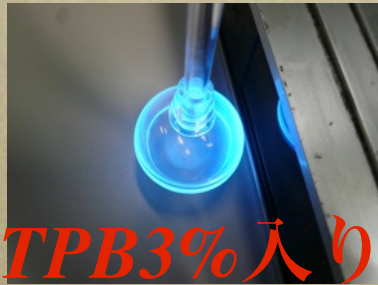
Astroparticle Physics 62, 178-194 (2015)



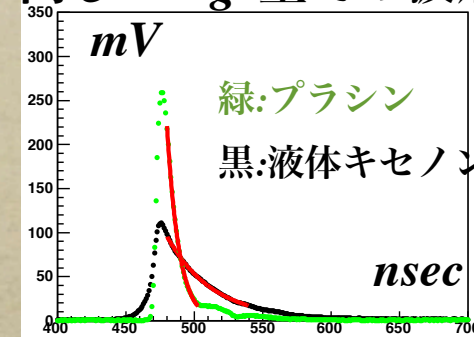
プラシン容器はDM探索にも有効

LXe シンチレーション光測定

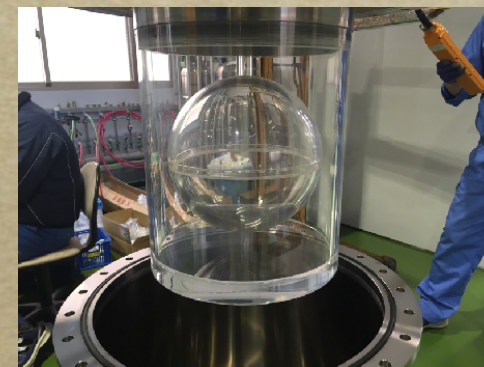
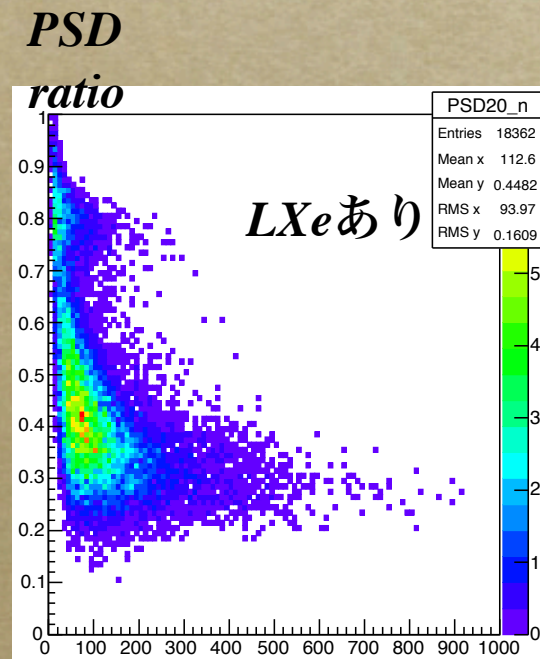
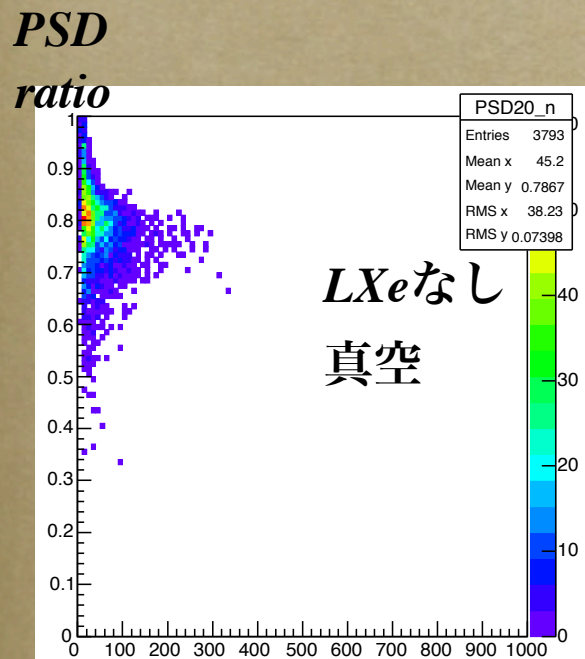
φ4cm のプラシン容器にLXe(-100°C)を導入



同じcharge量での波形の違い

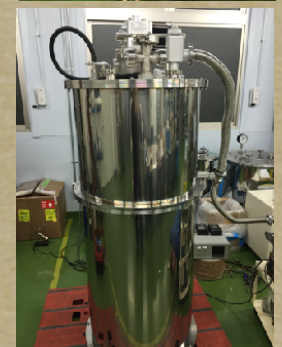
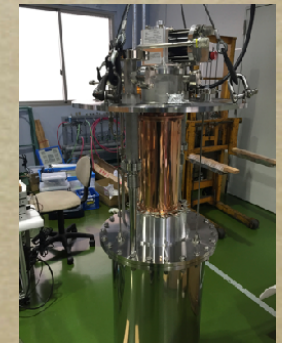


LXeのシンチレーション光を可視光に変換してPMTで読み出すのに成功した。

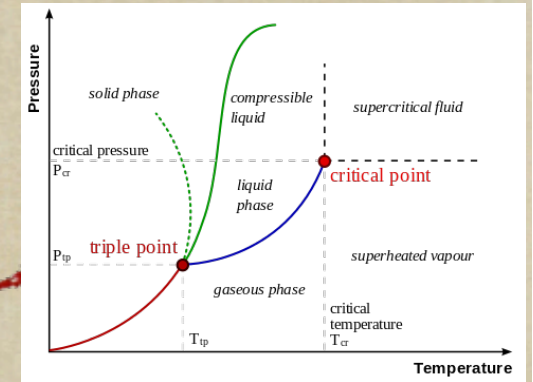


大型化+多目的化

LNe, LAr, LXe
15W@25K



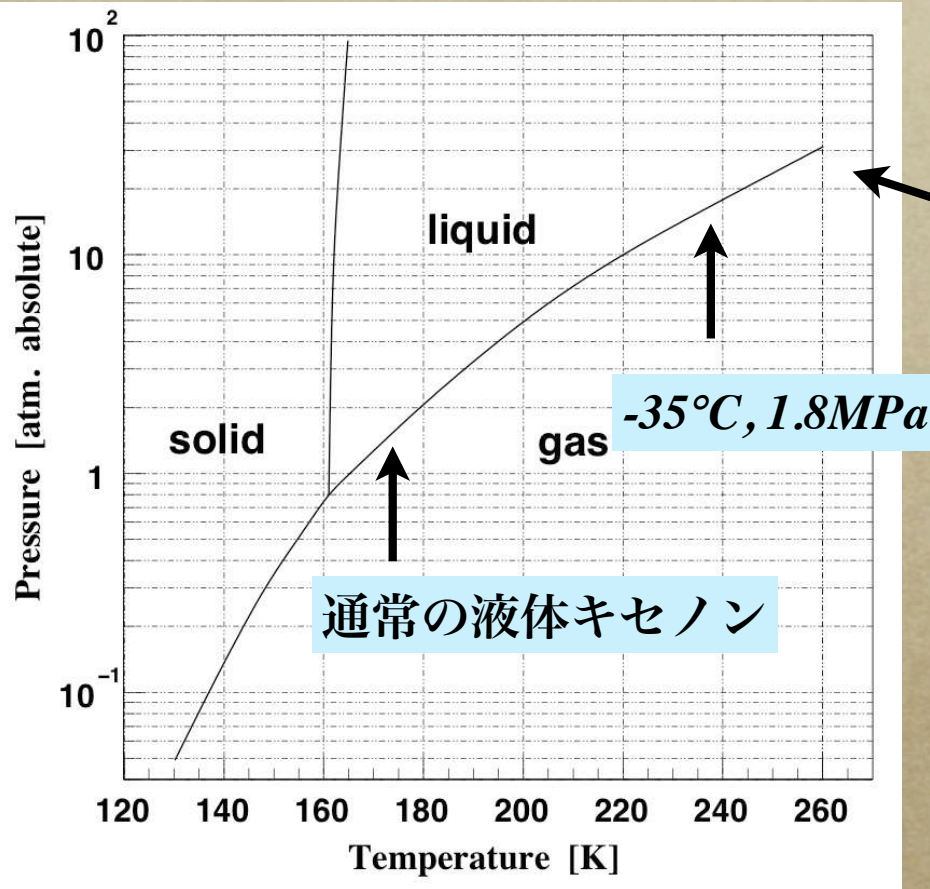
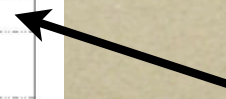
高压液体キセノン



キセノン 臨界点 $\sim 17^\circ\text{C}$

1°C の高压液体キセノン $\sim 4.2\text{MPa}$

-10°C 程度の高压液体キセノン $\sim 3.2\text{MPa}$



高压液体キセノンの利点

- 耐圧容器を作れば取り扱いが簡単
- 断熱真空層が不要

純度

Co59,Th232,U238の混入量をICP-MSで分析評価, K39はフレイム光度分析値



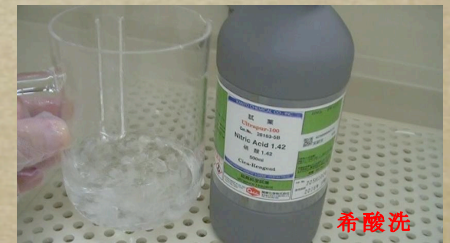
プラシン:表面研磨時の切りかす
洗浄は一切行わず

K $< 10^{-7}$ g/g

U 1.2×10^{-11} g/g

Co 1.2×10^{-9} g/g

Th 2.8×10^{-11} g/g



プラシンを希硝酸、超純水で洗浄後

K $< 10^{-7}$ g/g

U $< 5 \times 10^{-12}$ g/g

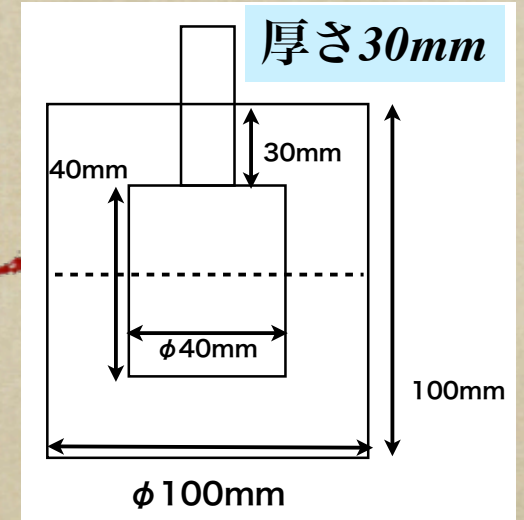
Co 5.9×10^{-10} g/g

Th $< 5 \times 10^{-12}$ g/g

K/U/Th は検出限界以下

プラシンのベース、ポリスチレン,ポリビニルトルエンは常温液体
蒸留等によりさらに低バックグラウンド化は必須

耐高压プラシン容器開発



共重合接続
(技術が必要)



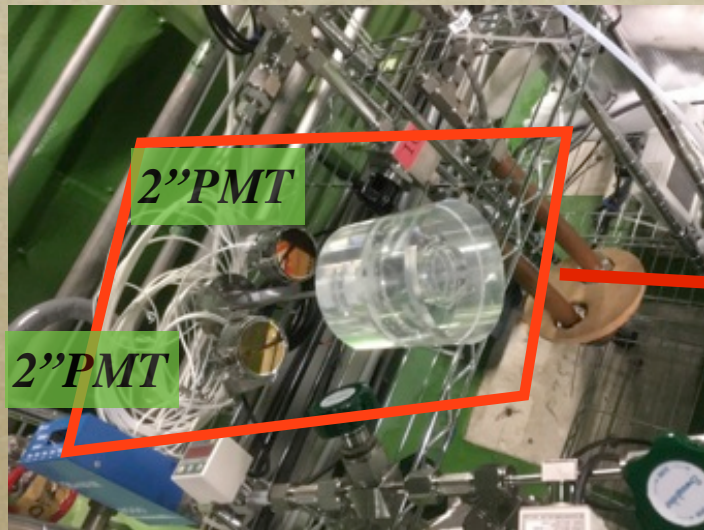
ねじ込み+光学接着剤

~4.2MPa 水压テスト



半割れブロックを作成し、接続
常温高压液体キセノンを導入

高压液体キセノンの導入



$2.3 \times 10^{-3} \text{ Pa}$

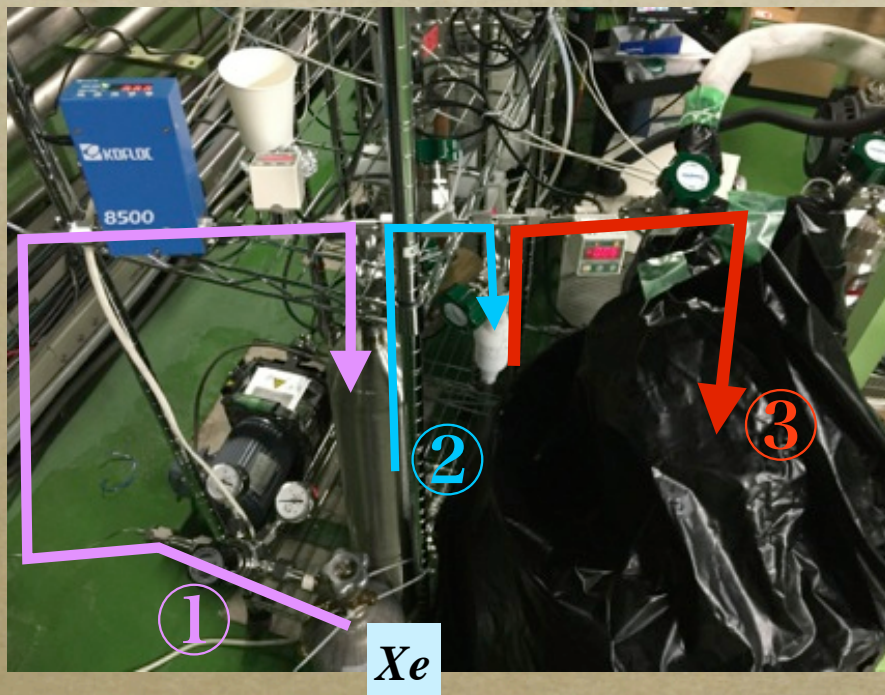
degassing rate $1 \times 10^{-3} \text{ Pa/sec}$

プラシン容器をSUS チェンバーに導入

チェンバー内をノベック7200(冷媒)でみたし、

1°C付近まで冷やして高压液体キセノンを導入

高压液体キセノンの導入

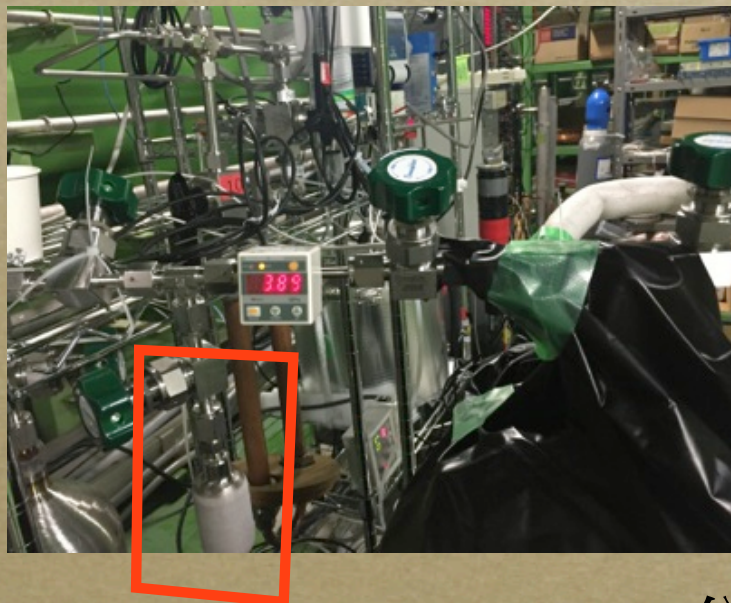
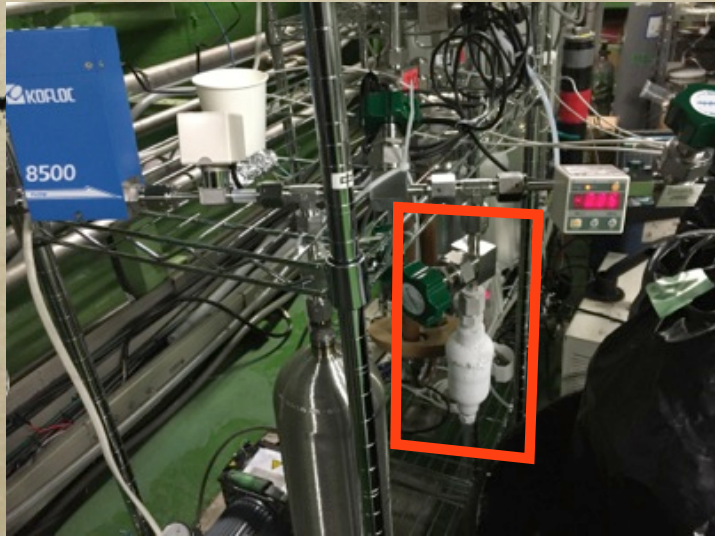


① 16L のXeを 1 ガロン容器に導入
~100g

② Xeを 50cc容器に固化捕集

③ 50cc容器を昇温し、プラシン容器に導入

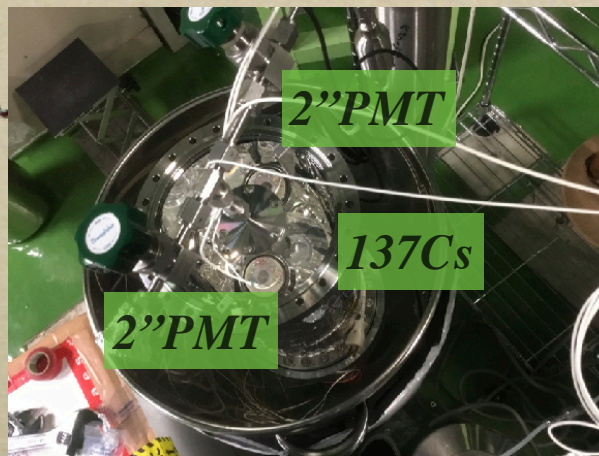
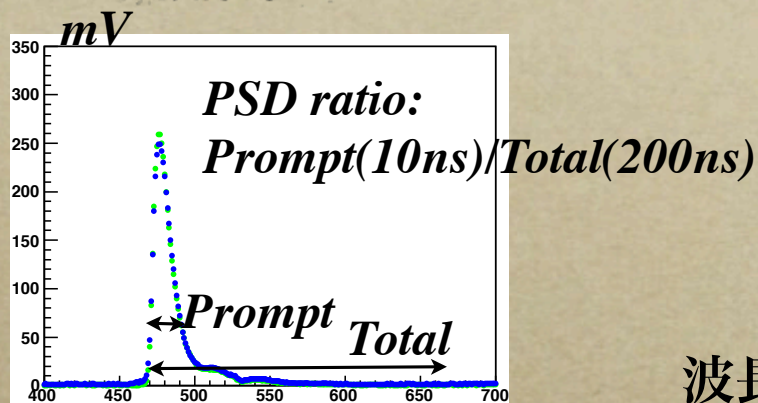
実証テスト



4.4MPaの液体Xeを導入

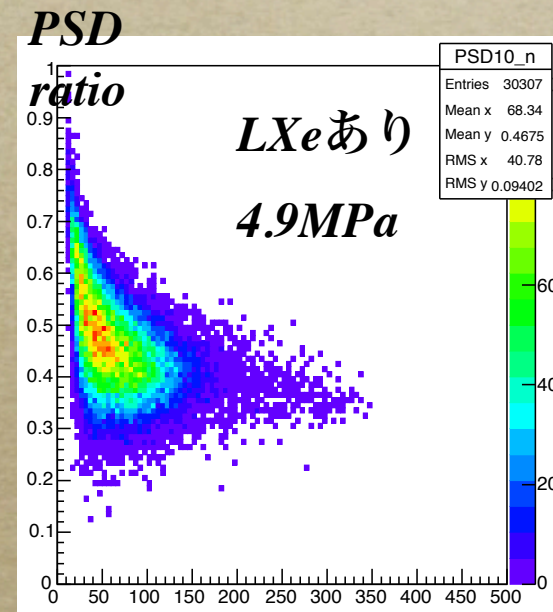
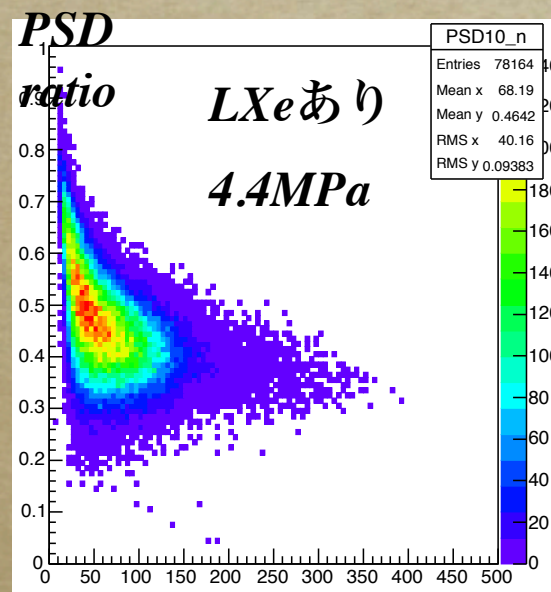
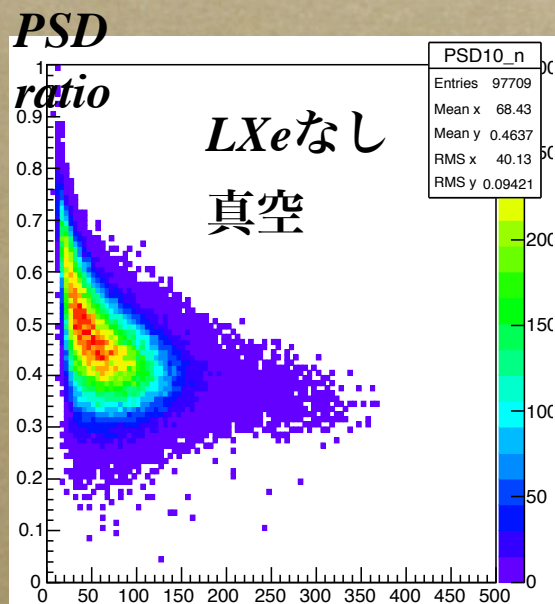
60分ほどで4.4MPaGに到達

シンチレーション光測定



高圧LXeの入ったプラスチック容器
に662keVのガンマ線を照射

波長変換したLXeのシンチレーション光を検出できず...



容器内面の不純物の影響か
(ポリスチレン or 接着剤)

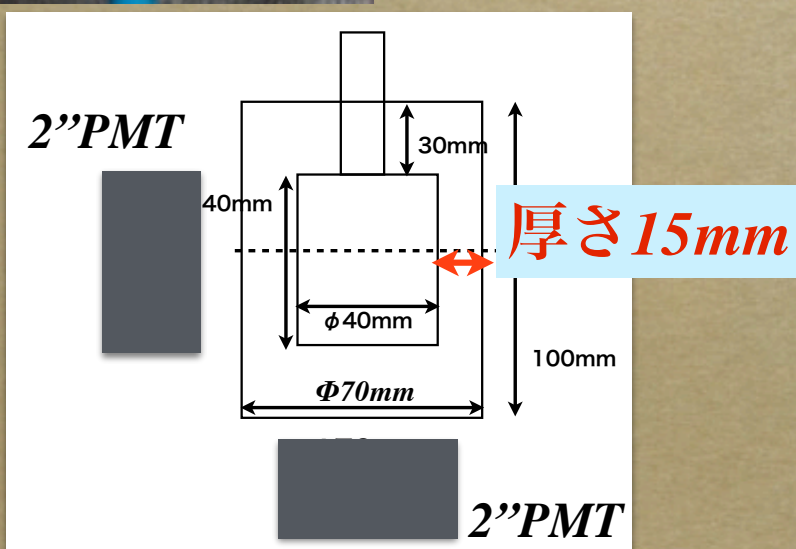
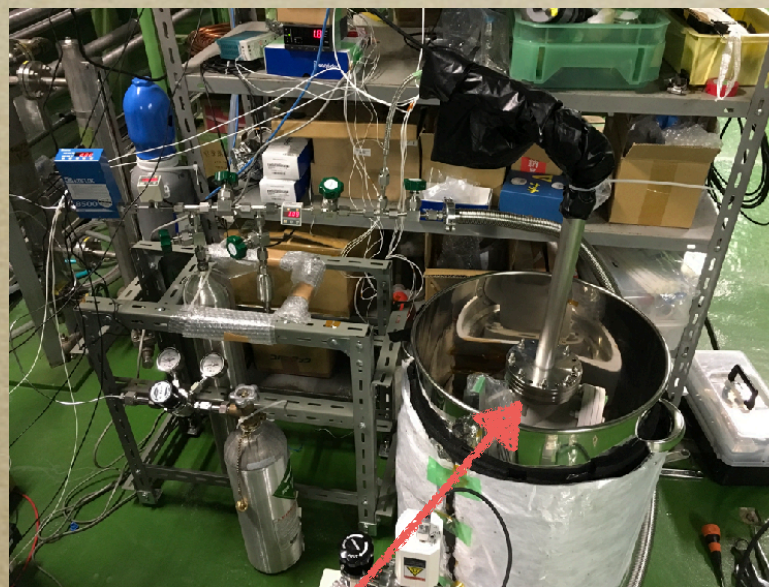
シンチレーション光測定

高压容器を小型化し、PMTを近づけて測定

キセノンの液化に伴うプラシン容器内部の温度上昇を抑制

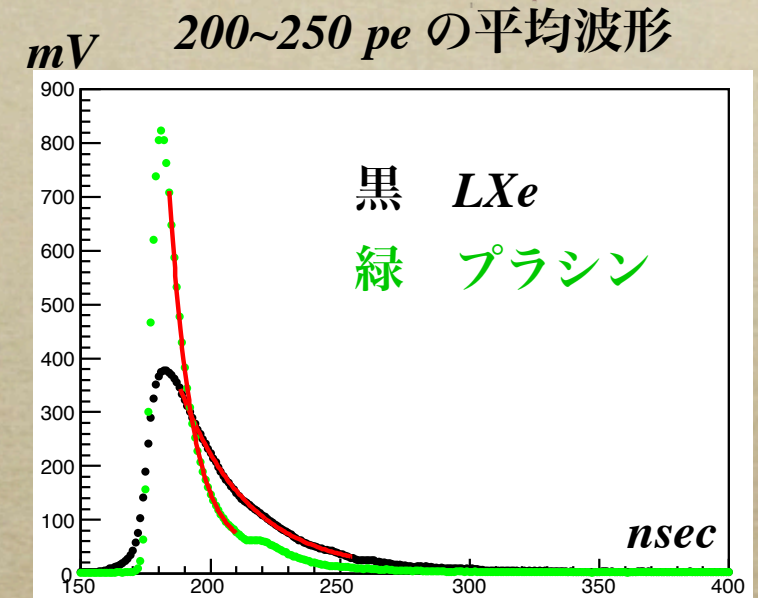
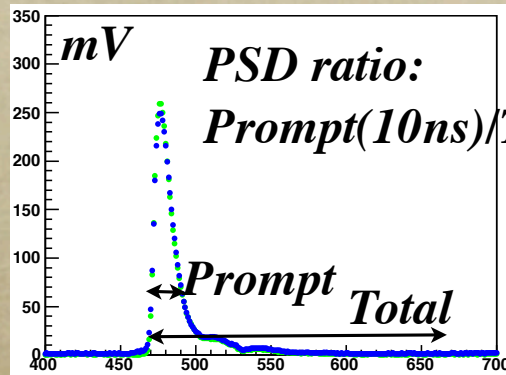


プラシン容器
ポリスチレンベース
パラタフェニル

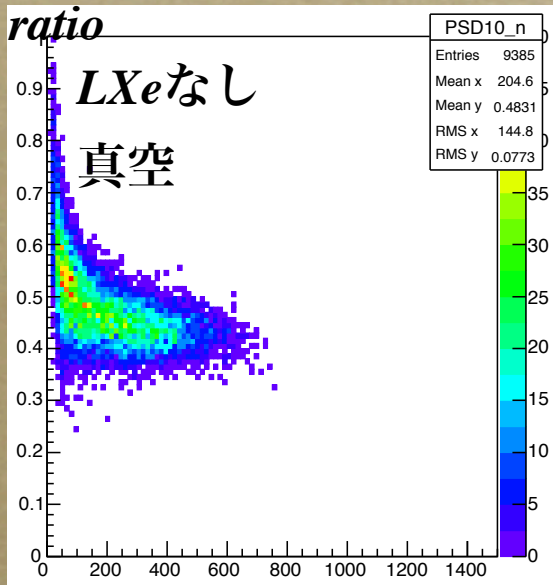


液体窒素でチェンバーを冷却し、
圧力上昇スピードを緩やかにした。

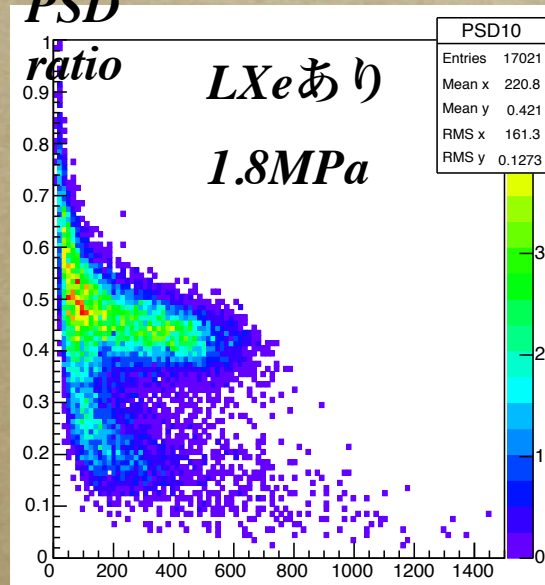
高圧LXeシンチレーション光



PSD
ratio



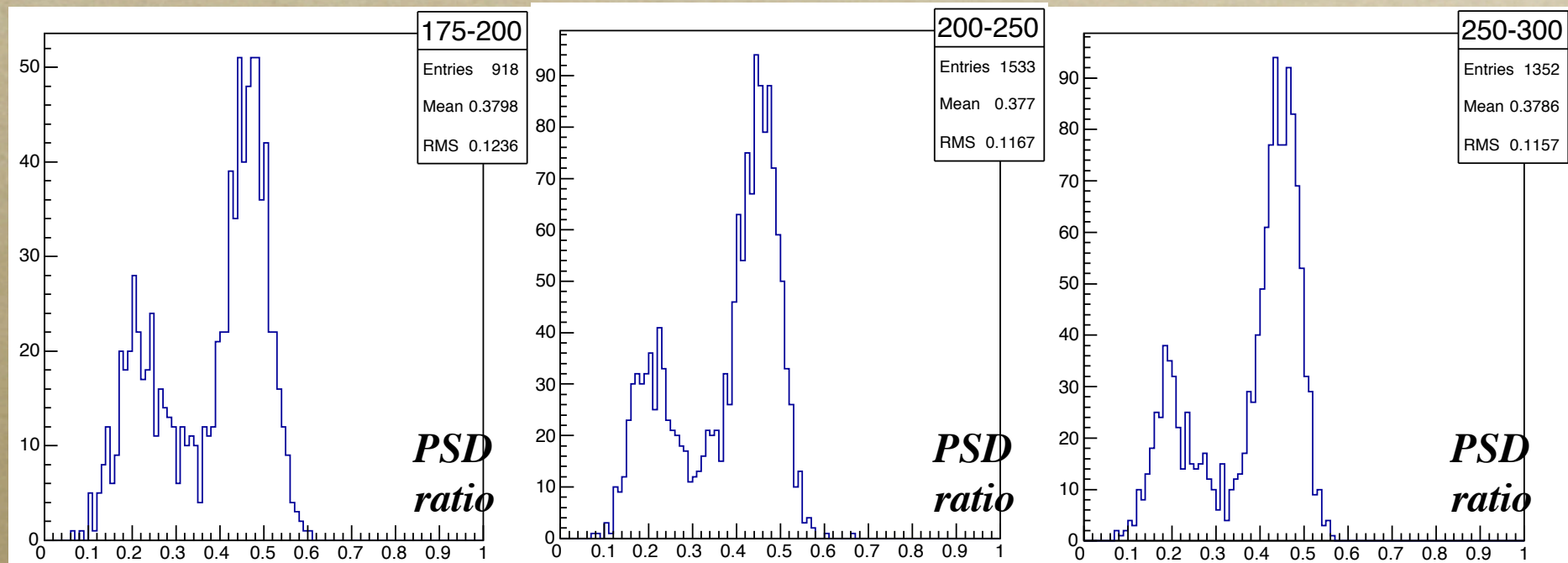
PSD
ratio



波長変換した高圧LXeのシンチレーション光を検出できた。

波形弁別

1.8MPa 高圧LXe と プラシンの波形の違い



LXeとプラシンのシンチレーション光を区別し
極低バックグラウンド化が可能なことを確認

今後

- 高圧液体キセノン(4MPa)での波長変換したシンチレーション光の検出 (VUVではすでに測定済み)
- 収集光量の改善(TPB添加量、PMTの数を増やす)
- 方向感度を持たせるためにチェレンコフリングの測定(*solar neutrino* 低減に向けた基礎研究)

LXe: プラシン容器で波長変換

チェレンコフ: ダイレクトにPMTへ到達

まとめ

- 。 高圧プラシン容器の開発を行い、水圧テスト、高圧液体キセノンの導入試験を行った。
- 。 高圧液体キセノン(1.8MPa)のシンチレーション光を可視光に変換して読み出す事に成功した。
- 。 波形弁別を用いて極低バックグラウンド化が可能なことを確認した。(1.8MPa高圧液体キセノン)
- 。 今後4MPa高圧液体キセノンのシンチレーション光を可視光に変換し、PMTで測定する。(収集光量の改善)